第七章 地球的鄰居

7.1 太陽系概觀

- 太陽系最重要的成員是位於中心的太陽 (Sun) — 一顆能發光和熱的恆星。
- 九大行星 (Planet) (圖 7-1,7-2) 與它們的衛星 (Satellite) 的軌道差不多位於同一平面上。
  - 冥王星的偏離度最大 — 公轉軌道傾斜 17.2°
  - 從地球的北極看，行星在近乎圓形的軌道上，繞太陽逆時針方向公轉
  - 從地球的北極看，行星 (除了金星、天王星和冥王星外) 逆時針方向自轉
  - 行星的公轉軌道並非等距相隔，距離太陽越遠，相鄰行星之間的距離越遠
- 小行星帶 (Asteroid belt) 位於火星和木星之間，由散落的小行星組成，它們大都是直徑小於 1 km 的岩石殘骸。
- 隕星 (Meteoroid)：星際間細小的殘骸。它們擊中地球後便如一轉瞬即逝的光痕，劃破黑夜長空，這就是大家熟悉的流星 (Meteor)。

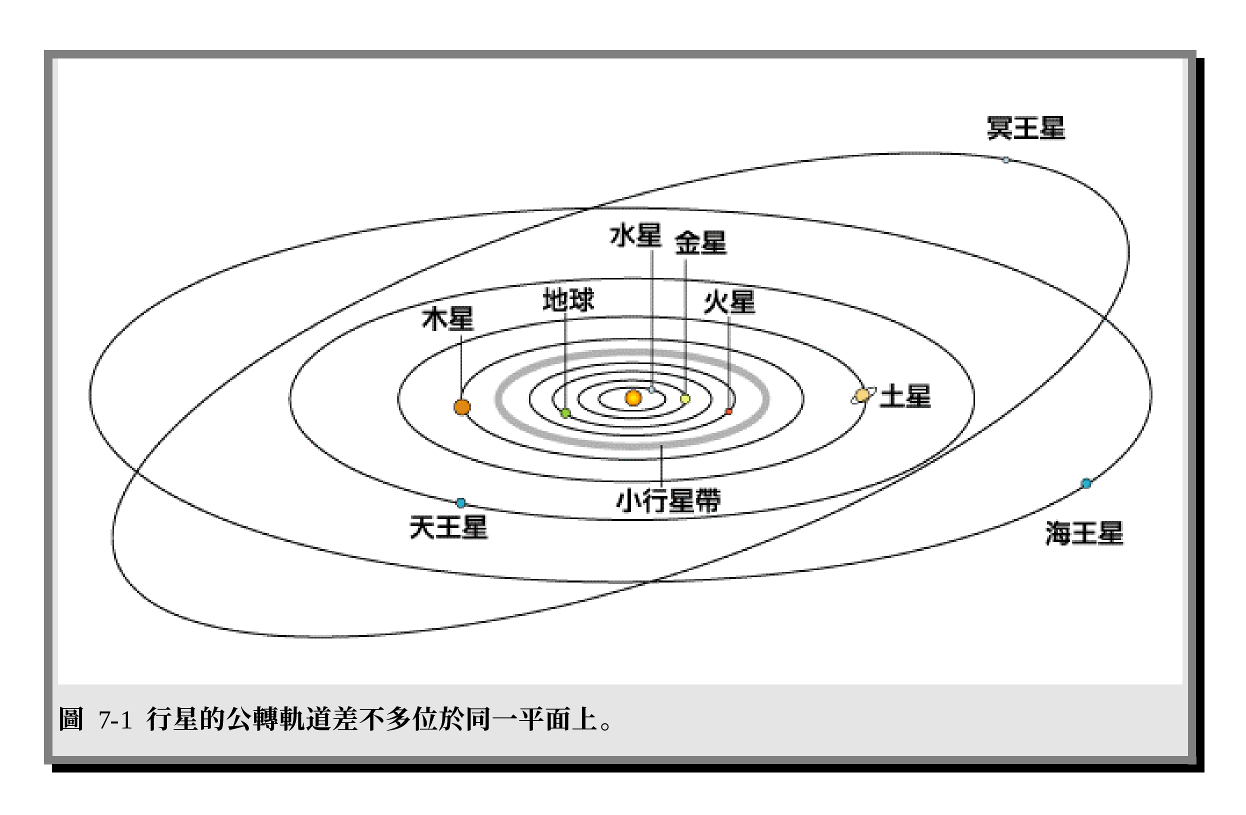


圖 7-1 行星的公轉軌道差不多位於同一平面上。

- 彗星 (Comet)：在非常橢長的軌道上繞太陽公轉的「骯髒雪球」，它們在接近太陽時變得光亮並產生彗尾。
- 太陽風 (Solar wind)：從太陽吹出來的高能量帶電粒子。

- 放射測年法顯示隕石的年齡約為 46 億歲，與整個太陽系的年齡大致相同。

7.2 行星的分類

A. 類地行星 (Terrestrial planets) (水星、金星、地球和火星)

- 位於太陽系內部。
- 密度相對地較高，由鐵和鎳構成的核心被高密度的岩石外層包裹著。
- 質量與體積較小，因此引力較弱，導致衛星數目較少 (例如：地球只有一顆，火星有兩顆)，只有稀薄的大氣層，沒有光環系統
- 表面受隕石撞擊，滿佈環形山。

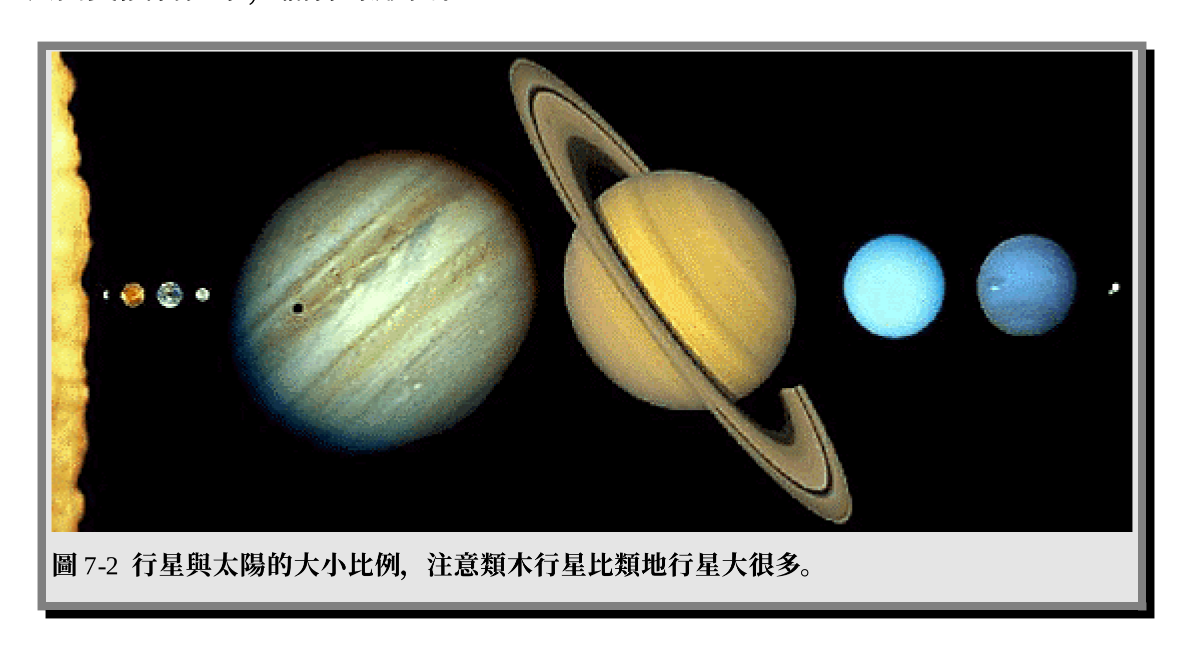


圖 7-2 行星與太陽的大小比例，注意類木行星比類地行星大很多。

B. 類木行星 (Jovian planets) (木星、土星、天王星和海王星)

- 位於太陽系外部。
- 主要由氫和氦構成，密度較低 (和水差不多)。
- 看起來像一團氣體，沒有固體的表面，但內部有很厚的液體層，可能有如地球般大小的岩石核心。
- 體積與質量很大，因此引力很強，導致衛星數目較多，擁有濃厚的大氣層，當中有強大的氣壓和很多複雜的氣象變化，與及光環系統 (ring systems)

7.3 行星的特質

A. 水星 (Mercury)

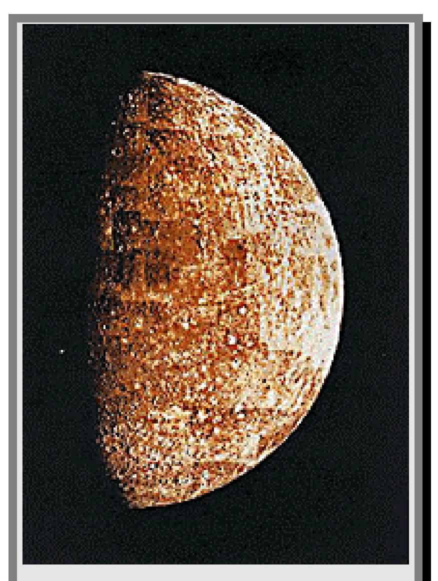


圖 7-3 水星的表面像月球一樣佈滿環形山，在最年輕的環形山周圍，仍殘留著隕石撞擊表面時物質四濺的痕跡，故顯得較光亮。

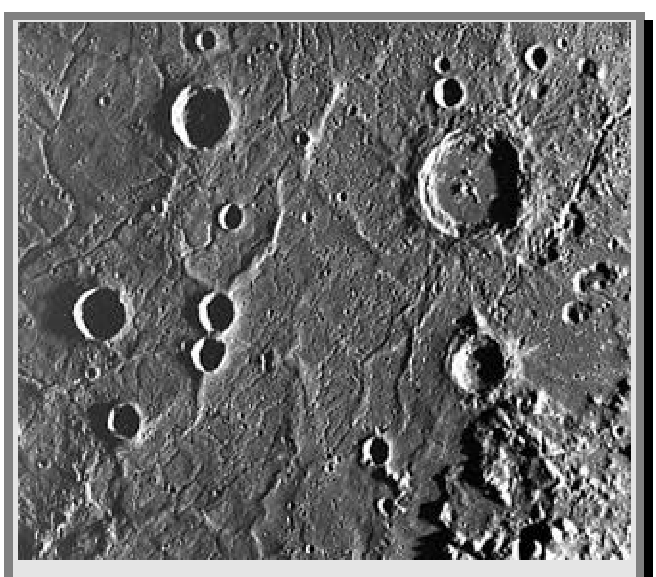


圖 7-4 水星表面的卡勞維斯盤地 (Caloris Basin)。照片顯示山脊和斷層在接近盤地中央的區域（左上方）較為明顯。

- 白天受太陽照射，非常熱。沒有大氣層保留熱力，晚上熱力流失得很快，非常寒冷。晝、夜的溫度相差很大 (-170°C - 430°C) 。
- 大氣層由於表面過熱和行星引力過弱而流失
- 表面保留了很多環形山
- 卡勞維斯盤地 (Caloris Basin) 是被一塊巨大的隕石撞擊而成的。
- 一般相信環形山之間的平原 (intercrater plain) 是由凝固的熔岩流形成的，但沒有像月面上那般廣大的深黑熔岩平原。
- 表面上有巨大的彎曲懸崖，稱為裂谷 (lobate scrap)。

B. 金星 (Venus)

- 順時針方向自轉，與其他行星的自轉方向不同。
- 表面隱蔽在高密度而穩定的雲層之下。
- 雷達顯示金星表面主要被起伏的平原 (rolling plains) 覆蓋著，間中有一些高山和火山。廣泛分佈的斷層 (faults) 證明表面曾經有火山活動。
- 數十億年前，大部份水被太陽輻射分解，只留下乾燥而濃密的大氣層 (約為地球大氣層密度的 100倍)，成份主要為二氧化碳。

- **二氧化碳產生強烈的溫室效應** (greenhouse effect)，**困住太陽輻射帶來的能量，導致表面非常酷熱** (470°C)，**大氣層佈滿氣體化合物** (圖 7-7) 。

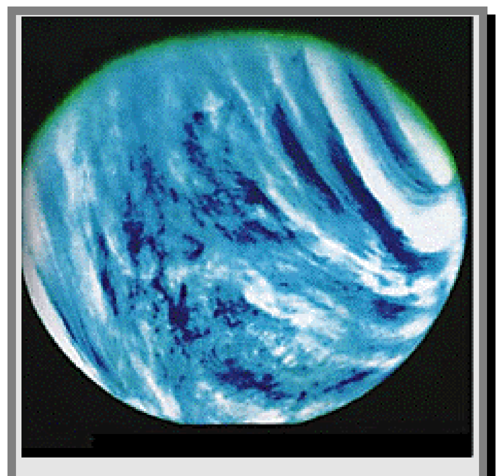


圖 7-5 太空船水手十號 (Mariner 10) 攝得之金星照片，顯示金星大氣層內濃厚的雲層和複雜的天氣模式，卻拍攝不到金星的表面。

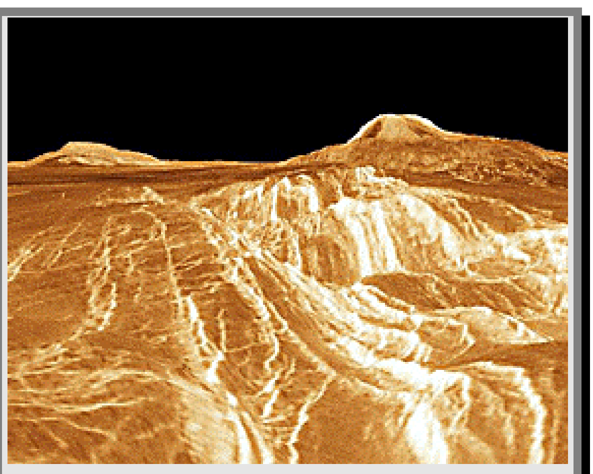


圖 7-6 濃厚雲層下的金星面貌。這是電腦根據雷達記錄得的資料所模擬的假色影像。圖中顯示了兩座火山，和似乎是由熔岩泛濫造成的起伏平原。

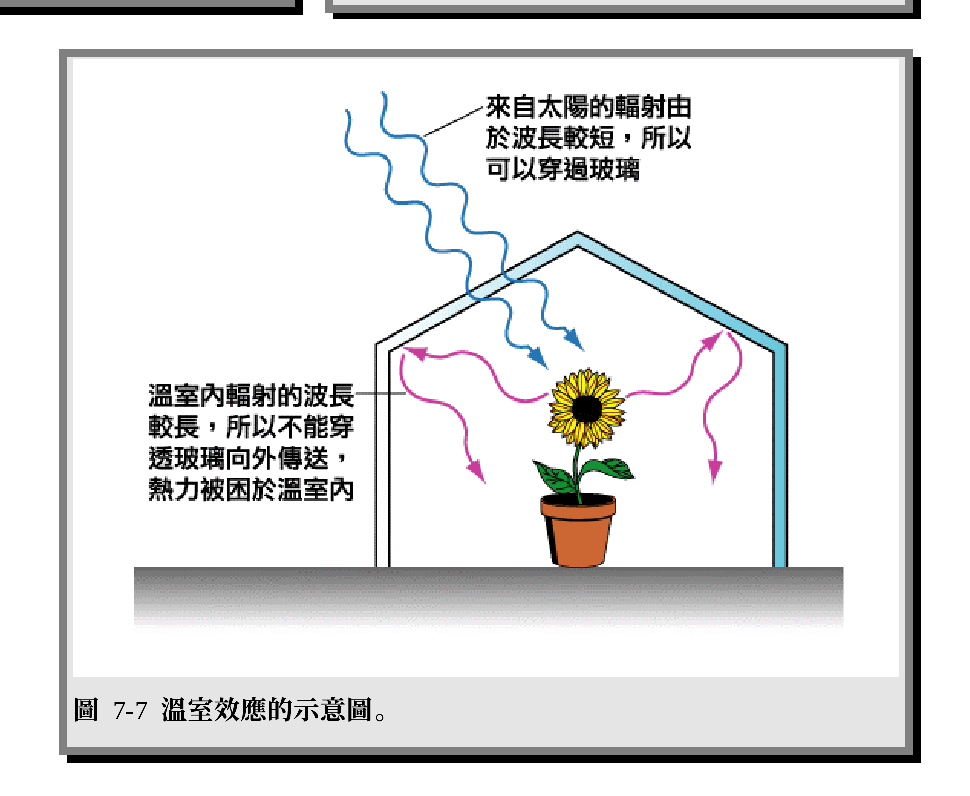


圖 7-7 溫室效應的示意圖。

C. 火星 (Mars)

- 土壤蘊含豐富的鐵質，所以呈現紅色 (鐵鏽)；在火星表面上觀看，天空呈現粉紅色，這是表面上吹起的紅色塵埃造成的。表面有不少環形山，也擁有特大的地形。火星擁有巨大的火山，例如奧林匹斯山 (Olympus Mons) 是太陽系內最大的火山，高 25 公里。火星也擁有很大的峽谷、乾涸的河床。水手谷 (Valles Marineris) 長 4000 公里，約相當於香港到印度的距離，峽谷最闊的地方達 600 公里，地球的大峽谷與之相比，實在是小巫見大巫
- 當季節變遷時，火星經常發生巨大的塵埃風暴，有時塵埃甚至可以蓋過整個火星

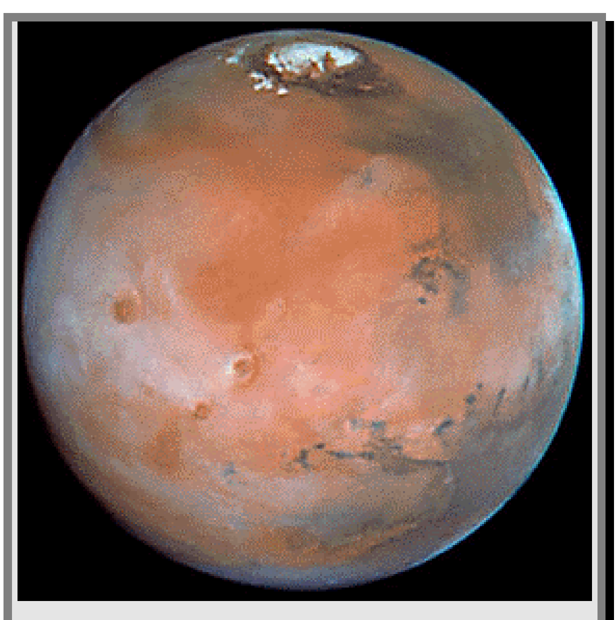


圖 7-8 哈勃太空望遠鏡攝得的火星照片。相片清楚地顯示了火星其中一個極冠。

- 火星的質量不足地球的 11%，故引力也較弱。我們估計，數十億年前的火星大氣層比現時的密度高很多，但火星的引力弱，易揮發的氣體不斷流走，現在只剩下稀薄的大氣層 (約為地球的 1%)，主要成份為二氧化碳
- 在南、北極的極冠 (polar caps) 含有多層凝固的二氧化碳 (乾冰)，覆蓋著一些冰 (固態水)。隨著季節變遷，部份二氧化碳會氣化或凝固，極冠的大小隨之而變化。火星表面沒有液態水，只有少許與礦物質混合的水殘留在土壤裏
- 根據乾涸的舊河床和表面侵蝕痕跡 (似乎是液體流動造成的) 等證據，我們可以推論數十億年前火星比現在溫暖，有較厚的大氣層，可能曾經存在大量液態水，但現時已完全流失



圖 7-9 火星的奧林匹斯山 (Olympus Mons) 是太陽系內最大的火山。



圖 7-10 火星表面上有些被泛濫的液體 (很可能是水) 所侵蝕的痕跡，由此可推論火星在數十億年前可能擁有大量液態水。

D. 木星 (Jupiter)

- 太陽系最大的的行星。
- 色彩絢麗的暗帶紋 (dark belts) 與亮帶 (light zones) 是複雜的天氣現象大紅斑 (Great Red Spot) 是一個巨大的氣旋，維持了超過 300 年
- 急促自轉 (週期約為 10 小時) 使木星變得扁平
- 內部壓力非常強大，氫氣被壓縮成金屬液態氫 (liquid metallic hydrogen) — 一種十分好的導電體。導電物料的急速旋動產生強大的磁場 (約為地球的 100 倍)
- 擁有暗且薄、由細小粒子組成的光環
- 木星有很多衛星，伽利略發現了其中最大的四顆
  - 木衛一 (Io) 的火山噴出的氣體和物質含有大量彩色的硫化物。它的內部受木星的潮汐力作用因摩擦而生熱，即潮汐加熱 (tidal heating)
  - 木衛二 (Eruopa) 是一個被冰覆蓋著的岩石世界
  - 木衛三 (Ganymede) 是太陽系中最大的衛星，表面佈滿被槽溝地形分隔的環形山，地質年齡較其他衛星老
  - 木衛四 (Callisto) 擁有暗淡、滿佈環形山的表面



圖 7-11 整個木星完全被雲層覆蓋著，雲層形成有花邊的雲帶，在氣流的帶動下轉動。色彩繽紛的雲層相信是由氨所組成的複雜分子造成的。

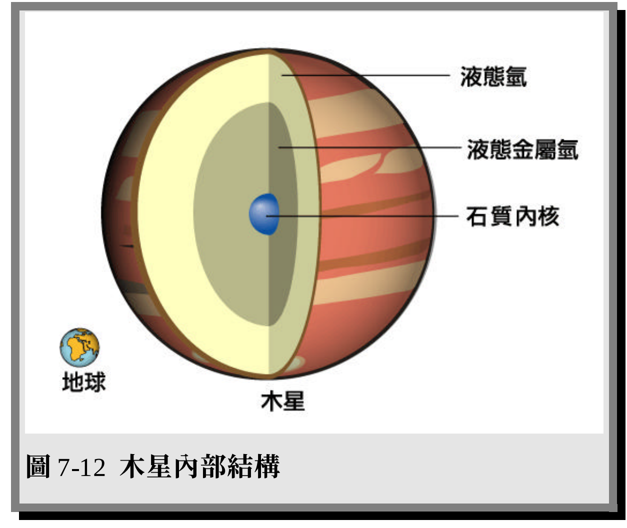


圖 7-12 木星內部結構



圖 7-13 木星的大紅斑 (右下角) 是一個巨大的氣旋。圖中的地球顯示大小比例。

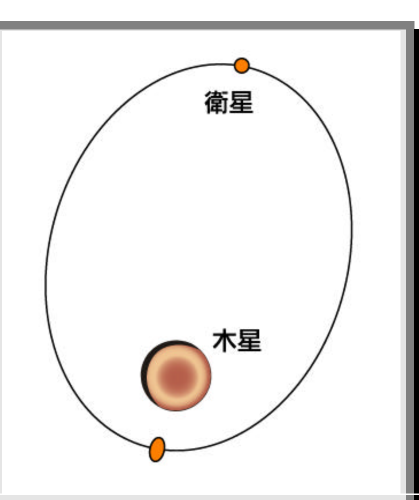


圖 7-14 木星的強大潮汐力使在橢圓軌道上運動的木衛一形狀不斷有輕微的變化。木衛一內部因摩擦而生熱，導致火山活動。

E. 土星 (Saturn)

- 太陽系第二大行星，擁有超很多衛星。
- 大氣狀況與木星相似，但暗帶紋與亮帶不如木星般明顯，刮風也不如木星般頻密，但風力較強，偶然也會出現白色的雲。
- 平均密度 (0.7 g/cc) 比水低。
- 擁有巨大、明亮、由細小冰粒構成的光環系統。
  - 在地球上用望遠鏡可以很容易地觀測到三個同心光環 (A, B 和 C)
  - 光環內有很多結構 (例如卡西尼環縫 - Cassini's division) 正受著衛星引力的影響。牧羊衛星 (Shepherd satellites) 把最外層的光環局限在它現存的範圍內
  - 光環包含數以萬計狹窄的小環 (ringlets)，是粒子密度較高的地方
- 土衛六 (泰坦，Titan) 是一顆巨大的衛星。它的溫度足夠低，可以保存以氮和甲烷為主要成份的大氣層。

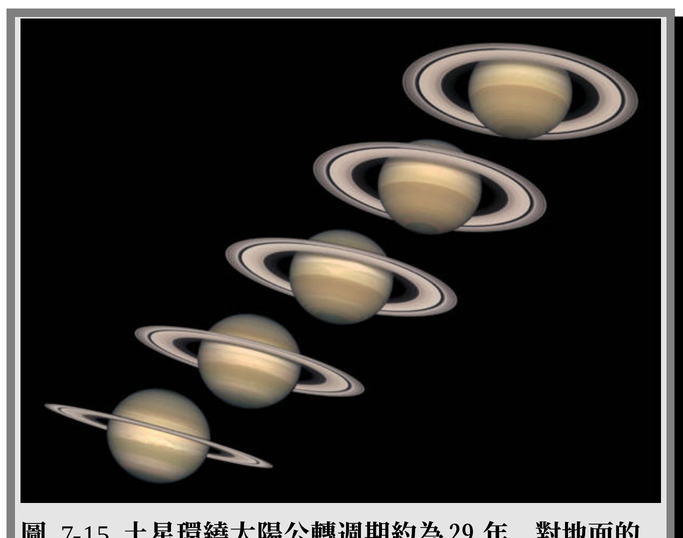


圖 7-15 土星環繞太陽公轉週期約為 29 年。對地面的觀測者來說，由於光環平面與黃道相交的角度保持不變，所以我們有時會看到光環的「上面」，有時會看到「下面」。

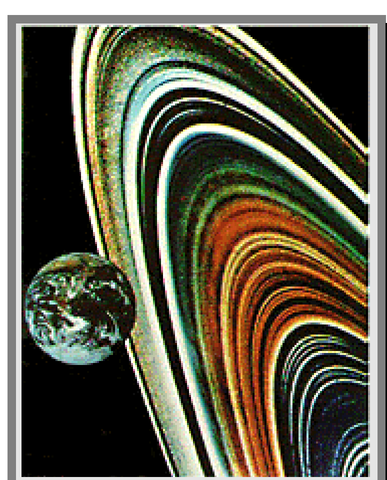


圖 7-16 航行者二號攝得的土星光環。這幅色彩經過處理的照片顯示土星的光環由數以萬計的小環組合而成。圖中的地球顯示大小比例。

- 光環系統的成因
  - 衛星曾經發生大碰撞，形成大量碎片
  - 土星強大潮汐力 (與月球作用在地球的潮汐力相似) 瓦解結構鬆散的衛星，產生的碎片形成光環

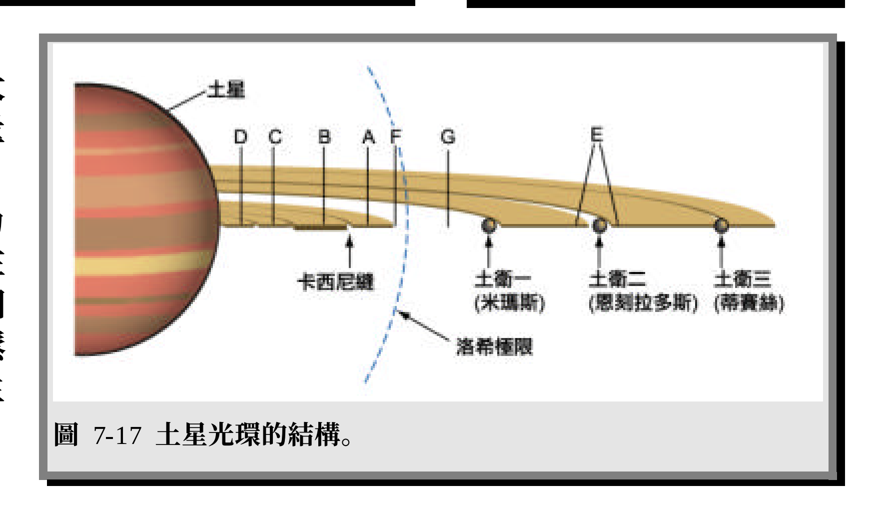


圖 7-17 土星光環的結構。

7.4 小行星 (Asteroids)



圖 7-18 小行星 Graspa。

- 一些繞太陽公轉的細小岩石殘骸。
- 大部份小行星位於火星與木星之間的小行星帶 (Asteroid belt) 內。它們的軌道可能受這兩顆行星的萬有引力影響 (火星的兩顆衛星可能是被俘獲的小行星)
- 只有超過二十多顆小行星的直徑大於 200 km，其餘大部份的直徑都只有 ~0.1 km，呈不規則形狀。最大的谷神星 (Ceres) 直徑約為月球的三分之一
- 大部份天文學家認為小行星是一些不能集結成行星的原始岩石；有些人則認為它們是很久以前一顆瓦解了的行星碎片
- 阿波羅 – 阿莫爾物體 (Apollo – Amor objects) 是數十顆軌道深入內太陽系的小行星，可能仍有很多這類小行星未被發現。可能與地球發生碰撞！

7.5 彗星 (Comets)

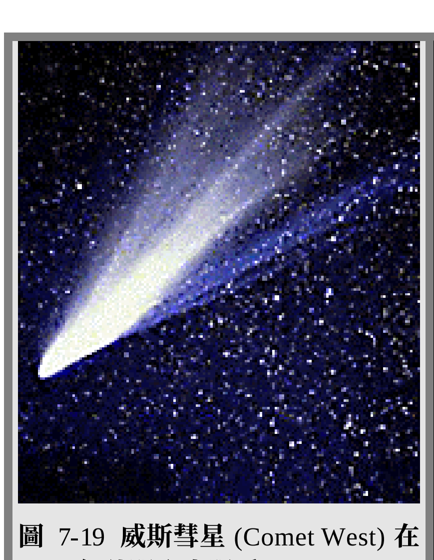


圖 7-19 威斯彗星 (Comet West) 在 1976 年訪問內太陽系。

- 循著非常橢長的軌道繞太陽公轉，大部份散佈在冥王星以外很遠的地方 (可能遠至 50,000 AU)
- 大多數是「長週期彗星」 — 公轉一周可能需時 $10^5 – 10^6$ 年。一些為數不多的「短週期彗星」週期與人的壽命相若 (例如哈雷彗星的週期為 76 年)
- 當彗星接近太陽時，它的軌道會因為物質被蒸發而出現明顯的變化。彗星有時會被其他行星俘獲甚至被瓦解 (例如在 1994 年 7 月，Shoemaker - Levy 9 彗星與木星發生碰撞)

- 彗核 (Nucleus)：彗星主要的固體部份，體積很小 (祇有數公里)。彗星離太陽很遠時就只有這部份
  – 彗髮 (Coma)：塵埃與被蒸發的氣體包圍著彗核，最大時體積可以與木星相比
  – 彗尾 (Tail)：蒸發的物質被太陽風和太陽輻射的壓力吹成尾巴狀
  – 當彗星最接近太陽時，彗髮與彗尾變得最明顯
- 在巨大而的奧特斯雲 (Oort cloud) 內，儲存了成千上萬不活躍的彗星。估計有接近一萬億顆彗星在距離太陽 30,000 AU 至 1 ly 的範圍內繞太陽公轉，只有極少數的彗星受擾後會進入太陽系

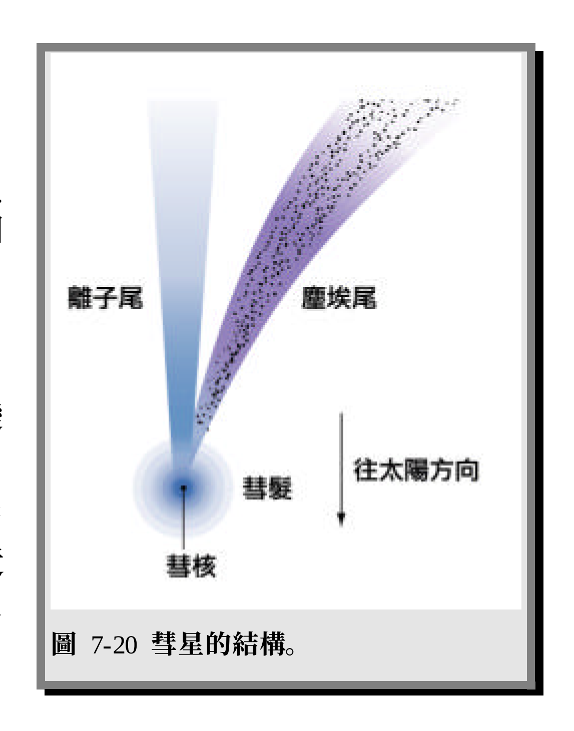


圖 7-20 彗星的結構。

7.6 隕星 (Meteoroids)

- 星際間的岩石殘骸擊中地球，與地球大氣層摩擦生熱而發光，在天空造成一條轉瞬即逝的光痕，這就是所謂流星 (Meteor)
- 大部份隕星都在穿過大氣層時被燒毀，那些僥倖抵達地面的殘餘部份稱為隕石 (Meteorite)
- 有些隕星是彗星的碎片，它們散佈在彗星的公轉軌道上。當地球在某彗星軌道附近掠過時，便產生壯觀的流星雨 (Meteor shower)



圖 7-21 直徑 1.2 km 的美國阿里桑那州隕石坑。它約在五千萬年前被一塊鐵質隕石撞擊而成。